

2.3 Bulle de savon

Note historique. Robert Boyle (1664) et Robert Hooke (1665) décrivent les couleurs des bulles de savon. Newton (*Opticks*, 1704) mesure l'épaisseur du film pour chaque teinte, et Young les explique par les interférences en 1801.

2.3.1 Principe

Un film de savon, d'épaisseur e et d'indice $n \simeq 1,33$, est entouré d'air. Éclairé en lumière blanche, il renvoie deux rayons : l'un réfléchi sur la face avant (air vers film, avec un déphasage de π), l'autre réfléchi sur la face arrière (film vers air, sans déphasage). Ces deux ondes interfèrent : c'est une division d'amplitude à deux ondes, comme pour la lame d'air des anneaux de Newton, avec un film d'indice n . Chaque face ne réfléchit que $R = ((n-1)/(n+1))^2 \simeq 2\%$: les réflexions multiples sont négligeables, ce qui distingue le film d'un Fabry-Pérot (finesse très faible).

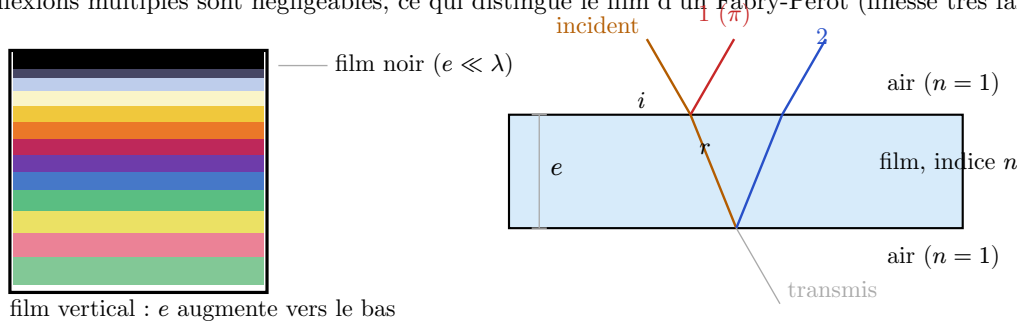


Fig. 12. – À gauche, un film de savon vertical : l'épaisseur croît vers le bas et les couleurs défilent (schématisé). À droite, les deux rayons réfléchis.

2.3.2 Différence de marche

Pour un rayon d'incidence i et de réfraction r ($\sin i = n \sin r$), la différence de marche géométrique entre les deux rayons réfléchis est $2ne \cos r$. En ajoutant le $\lambda/2$ dû au déphasage de π de la première réflexion :

Film mince dans l'air

$$\delta = 2ne \cos r + \frac{\lambda}{2} \quad (18)$$

Maximum de réflexion si $2ne \cos r = (p - 1/2)\lambda$; minimum si $2ne \cos r = p\lambda$.

À incidence normale, la longueur d'onde du premier ordre ($p = 1$) fortement réfléchi est $\lambda = 4ne$: pour $e = 100$ nm, $\lambda = 532$ nm, et le film paraît vert. Quand e varie, la teinte change :

Épaisseur e	$\lambda = 4ne$	Couleur réfléchie
75 nm	399 nm	violet
100 nm	532 nm	vert
125 nm	665 nm	rouge

2.3.3 Observations

Film noir (en réflexion). Au sommet d'un film vertical, l'eau s'écoule et le film s'amincit jusqu'à $e \ll \lambda/(4n) \simeq 100$ nm. Le trajet supplémentaire $2ne \cos r$ devient négligeable et il ne reste que le déphasage de π de la face avant : $\delta \simeq \lambda/2$ pour toutes les longueurs d'onde. Les deux ondes sont en opposition de phase et le film paraît noir. C'est le même effet que la tache centrale sombre des anneaux de Newton.

Variation avec l'angle. Quand l'incidence augmente, $\cos r$ diminue et la longueur d'onde renforcée aussi : les couleurs se déplacent vers le bleu.

En transmission. Les deux ondes qui sortent sont l'onde directe et celle qui a subi deux réflexions internes, sur la face arrière puis sur la face avant : toutes deux vers l'air, donc sans déphasage. La différence de marche est $\delta_t = 2ne \cos r$, sans le $\lambda/2$, et la figure est **complémentaire** de celle de la réflexion : une couleur renforcée en réflexion est éteinte en transmission, et un film très mince ($e \ll \lambda$) est lumineux. Mais la seconde onde a une amplitude $r^2 \simeq 0,02$ fois celle de l'onde directe : le contraste n'est que d'environ 4 %, et l'on ne voit pratiquement pas de couleurs en transmission.

Remarque. Le même calcul explique les traitements antireflet : une couche d'épaisseur $\lambda/(4n)$, d'indice inférieur à celui du verre, annule la réflexion à λ .

En résumé : un film mince renvoie deux ondes de différence de marche $2ne \cos r + \lambda/2$: sa couleur dépend de l'épaisseur et de l'angle, et il paraît noir en réflexion quand $e \ll \lambda/(4n)$. En transmission, la figure est complémentaire mais très peu contrastée.

Pour aller plus loin. J.-P. Pérez, *Optique : fondements et applications*, Dunod ; E. Hecht, *Optique*, Pearson ; S. Houard, *Optique : une approche expérimentale et pratique*, De Boeck.